

## ОСОБЕННОСТИ ПРОЦЕССА РЕЗАНИЯ ИНСТРУМЕНТОМ С ФАСКОЙ ПРИ СКОРОСТНОЙ ТОКАРНОЙ ОБРАБОТКЕ

А. М. РОЗЕНБЕРГ и М. Ф. ПОЛЕТИКА

Одной из характерных особенностей большинства конструкций резцов для скоростной обработки является наличие фаски (ленточки) вдоль главной режущей кромки. Фаска эта затачивается обычно с небольшим отрицательным передним углом (углом наклона фаски) и с шириной, примерно равной величине подачи. За фаской передний угол делается положительным ( $10+20^\circ$ ), а форма передней грани — либо плоской, либо радиусной (резец с лункой). Подобная геометрия передней грани инструмента для скоростного резания успешно применяется рядом стахановцев-скоростников (Борткевич, Быков, Кротов, Ионов, Бирюков и др.). В настоящее время она также рекомендована нормалью Министерства станкостроения СССР, составленной на основании обобщения исследовательских работ научных учреждений и экспериментальных данных ведущих предприятий машиностроения.

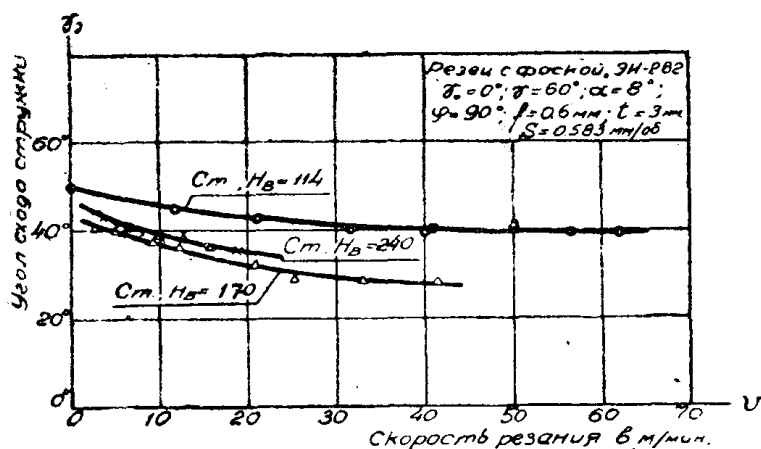
Как известно, быстрорежущие и твердосплавные резцы с фаской применялись задолго до появления скоростного резания, а рациональная геометрия таких резцов, разработанная под руководством С. Л. Каменковича, в 1943 г. была утверждена в качестве общесоюзного стандарта (ГОСТ 2320—43). Повышенная стойкость резца с фаской и пониженный расход энергии при его работе на малых и средних скоростях резания исчерпывающе объясняются высокой устойчивостью нароста, для которого наличие фаски создает естественную площадку. Нарост полностью закрывает фаску, что, с одной стороны, увеличивает передний угол резца и, следовательно, снижает мощность, потребную на резание, а с другой стороны, предохраняет резец от быстрого износа. Особенности стружкообразования и динамика процесса резания при работе резца с фаской в области низких и средних скоростей резания детально исследованы в работах А. Н. Еремина [1] и М. Ф. Полетика [2].

Иначе обстоит дело в области высоких скоростей. При скоростном резании нарост на резце без фаски не задерживается, что очень часто объясняют либо размягчением нароста под влиянием высокой температуры, либо тем, что он не успевает образовываться вследствие высокой скорости движения стружки по резцу. С позиций любой из этих трактовок, достаточно широко распространенных в литературе, мы вправе утверждать, что при скоростном резании нарост не должен образовываться и на инструменте с фаской, хотя там для его возникновения создаются более благоприятные условия. Остается неясным, чем же тогда объясняются повышенные режущие качества твердосплавных резцов с фаской при работе их на скоростных режимах (за исключением, конечно, того случая, когда фаска используется для укрепления режущей кромки резца, например, при прерывистом резании).

Между тем, наблюдения за геометрией и состоянием нароста на быстрорежущем резце с фаской, произведенные при малых и средних скоростях резания [1;2], позволяют предположить о существовании нароста и при высоких скоростях. Например, на резце без фаски передний угол нароста, как

показал А. Н. Еремин [1], в известном диапазоне скоростей интенсивно уменьшается с повышением скорости, в результате чего при некоторой вполне определенной температуре на передней грани (несколько меньшей  $600^\circ$ ) нарост исчезает. На резце с фаской передний угол нароста с увеличением скорости уменьшается очень незначительно (фиг. 1) и при температуре резания, близкой к  $600^\circ$ , на таком резце можно наблюдать устойчивый нарост.

И в том и в другом случае характер изменения переднего угла нароста становится понятным, если связывать появление нароста с образованием зоны застоя при движении стружки по резцу. Очертания зоны застоя, из которой возникает нарост, должны всецело определяться характером напряженного состояния материала стружки, а следовательно, нормальными силами и силами трения на передней грани резца. Отсюда следует, что основным фактором, определяющим передний угол нароста, является коэффициент трения стружки о резец. Поскольку же этот коэффициент изменяется с повышением скорости резания [1, 3, 4], то должен меняться и передний угол на-



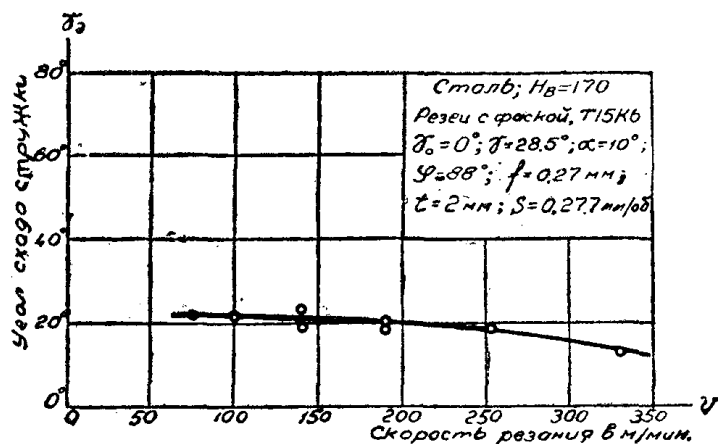
Фиг. 1

роста, что в конечном счете приводит к исчезновению нароста на резце без фаски. Фаска создает особо благоприятные условия для образования зоны застоя. Поэтому нарост на резце с фаской очень устойчив, и его передний угол мало зависит от скорости резания. Естественнo предположить, что на таком резце нарост должен сохраняться и при более высоких скоростях, чем те, которые допускает быстрорежущий инструмент.

С целью проверки этого предположения мы провели исследование процесса образования стружки при работе твердосплавного резца с фаской на высоких скоростях. Был изготовлен тангенциальный резец с напаянной пластиной из сплава Т15К6, которому была придана следующая геометрия: угол наклона фаски  $\gamma_0 = 0^\circ$ , передний угол за фаской  $\gamma = 28,5^\circ$ , угол в плане  $\varphi = 90^\circ$ , ширина фаски  $f = 0,27$  мм. Резец устанавливался в специальной державке, допускающей беспрепятственное наблюдение за процессом образования стружки. Наблюдения производились с помощью оптического угломера конструкции А. Н. Еремина [1]. В качестве обрабатываемого материала мы взяли углеродистую сталь средней твердости ( $H_B = 170$  кг/мм<sup>2</sup>;  $\sigma_s = 40$  кг/мм<sup>2</sup>;  $\delta = 24\%$ ).

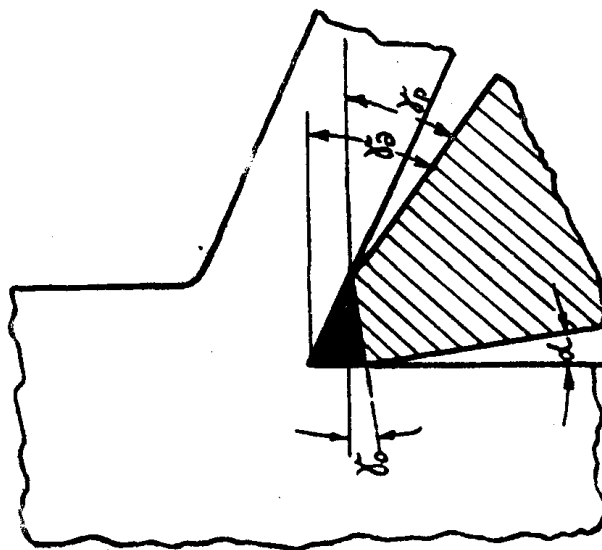
Поставленные опыты показали, что при скоростном резании на резце с фаской нарост не только задерживается, но и довольно устойчиво сохраняет свои геометрические параметры. Измерив с помощью оптического угломера передний угол нароста при различных скоростях резания, мы получили ту же зависимость, что и для быстрорежущего резца с фаской: с повышением скорости передний угол незначительно уменьшался, начиная от

малых скоростей вплоть до самых высоких (фиг. 2). При этом о величине переднего угла нароста мы судили, главным образом, по направлению схода стружки. Это оказалось возможным, так как стружка сходила с резца не завиваясь, а большой передний угол резца предохранял стружку от контакта с передней гранью за фаской. Стружка соприкасалась лишь с наростом и с кромкой пересечения плоскости фаски и передней грани (фиг. 3).



Фиг. 2

Нам удалось также заметить, что нарост при высоких скоростях резания не нависает над задней гранью резца. Если при низкой скорости в присутствии нароста отчетливо виден зазор между режущей кромкой резца и поверхностью резания, то при высокой скорости зазора уже не заметно. Вследствие этого нарост теряет часть своих защитных свойств, на что, кстати, указывает и замеченное изнашивание резца по задней грани, которое при меньших скоростях на резце с фаской совсем не наблюдается.



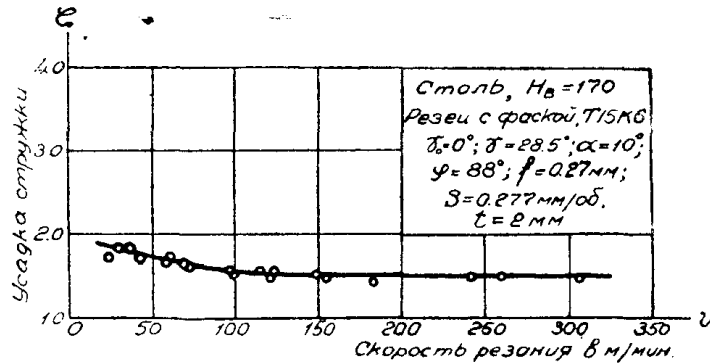
Фиг. 3

Наблюдения также показали, что радиус закругления вершины нароста при высокой скорости принимает много меньшую величину, чем при низкой скорости, то есть с повышением скорости резания нарост становится острее.

Любопытно отметить, что качество поверхности, обработанной резцом с фаской, даже при скорости порядка 300 м/мин, заметно хуже, чем при обработке в этих же условиях резцом без фаски. Поверхность сохраняет

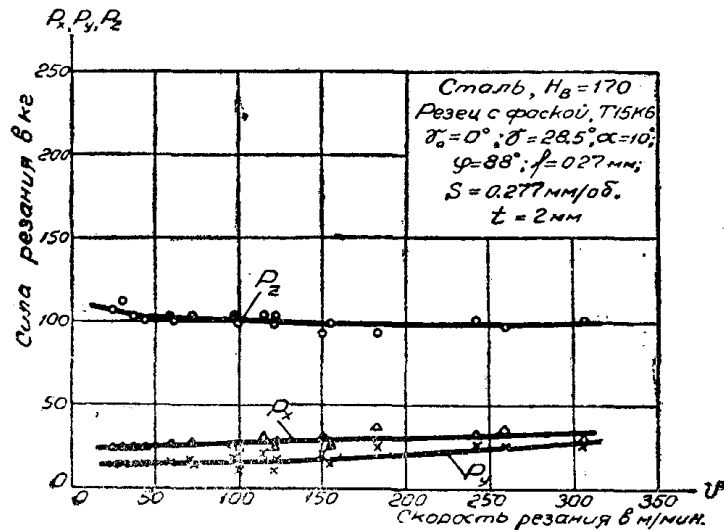
блеск, но оказывается как бы поросшей темными ворсинками, которые, несомненно, являются частицами нароста, выдавленными стружкой за вспомогательную режущую кромку резца.

Помимо наблюдений за наростом, мы произвели также измерение усадки стружки и составляющих силы резания, действующей на резец с фаской при скоростном резании. Зависимости усадки и силы от скорости резания представлены на фиг. 4 и 5. На фиг. 6 показана зависимость переднего



Фиг. 4

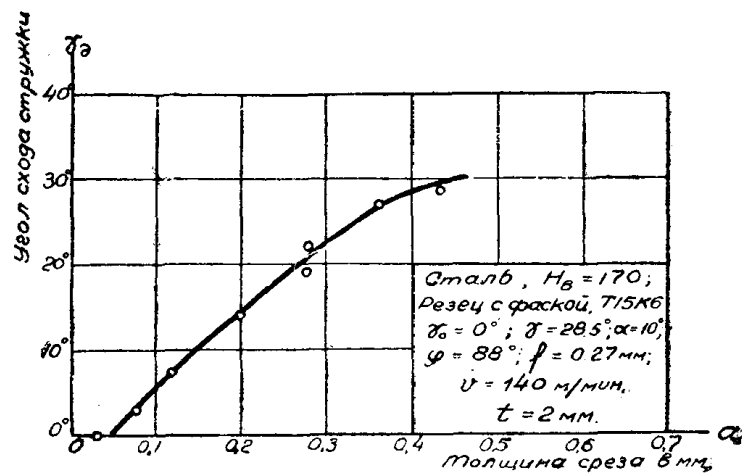
угла нароста от толщины среза при постоянной ширине фаски и постоянной скорости, а фиг. 7 интерпретирует характер изменения при этих условиях усадки стружки. Если мы сравним эти кривые с фиг. 8 и 9, на которых представлены аналогичные зависимости для быстрорежущего резца с фаской при малой скорости резания, то убедимся в полном их сходстве. Это лишний раз подтверждает факт существования нароста на резце с фаской



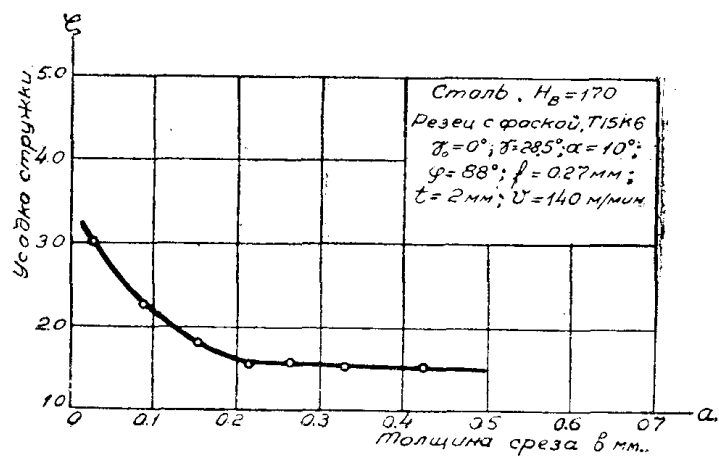
Фиг. 5

при высоких скоростях, ибо своеобразие кривой изменения усадки стружки в зависимости от подачи при постоянной ширине фаски для быстрорежущего резца (фиг. 9) находит свое единственное правильное объяснение в закономерности изменения геометрии нароста. Усадка падает сначала быстро, а потом медленно, потому что передний угол нароста при этом возрастает (тоже сначала быстро, а потом медленнее).

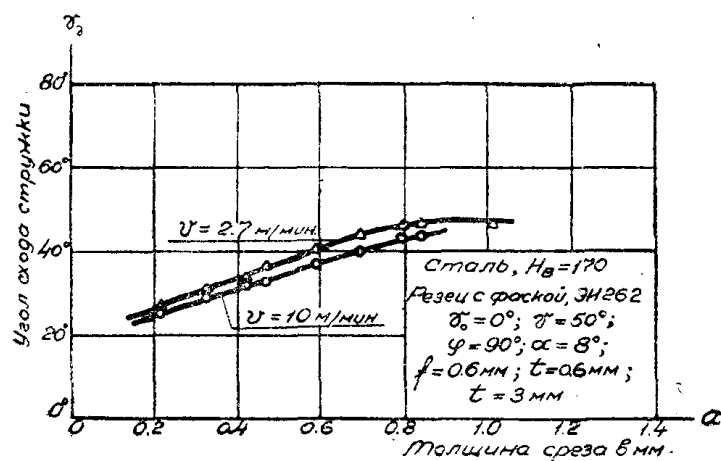
Резцы с фаской и радиусной формой передней грани в смысле условий для образования нароста не должны существенно отличаться от того резца, с которым были проведены наши опыты. И действительно, когда мы поста-



Фиг. 6

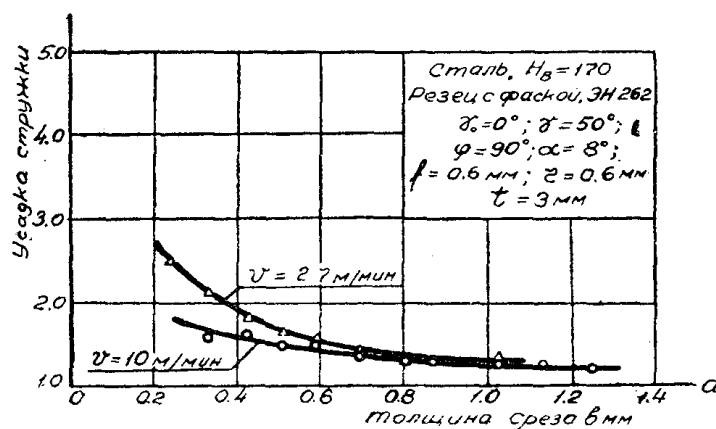


Фиг. 7



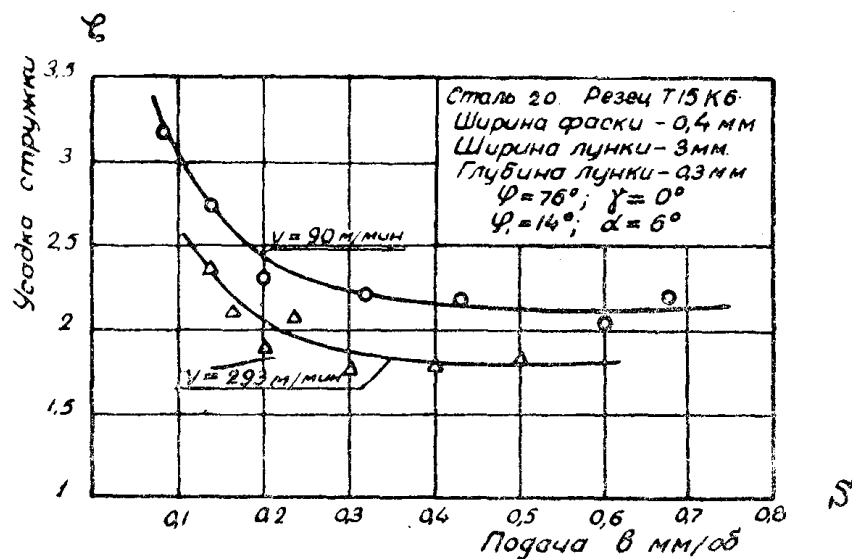
Фиг. 8

вили опыт с резцом, имеющим позади фаски канавку (лунку), то убедились, что и на нем при высоких скоростях присутствует нарост. Об этом свидетельствовали как непосредственное наблюдение через микроскоп, так и осмотр поверхности детали после обработки. Косвенно присутствие нароста на резце с канавкой подтверждается характером изменения усадки стружки при работе этого резца (фиг. 10).



Фиг. 9

Анализ геометрических параметров резцов с фаской, применяемых стахановцами-скоростниками (Борткевич, Быков и др.) и рекомендуемых в нормальях, показывает, что они весьма близки к тем, при которых создаются наиболее благоприятные условия для существования устойчивого нароста. Так, например, лауреат Сталинской премии Г. Борткевич при заточке своих резцов делает ширину фаски равной  $f=(0,8 \div 1,5) S$ , где  $S$  — подача в мм/об, при угле ее наклона в  $-2^\circ$ . Лауреат Сталинской премии П. Быков



Фиг. 10

рекомендует затачивать резцы с шириной фаски от 0,2 мм до 1,5 мм в зависимости от обрабатываемого материала. При сопоставлении этих цифр с величинами подачи, которые применяет Быков, мы приходим к соотношению того же порядка  $f=(0,8 \div 1,5) S$ , что при угле в плане в  $45^\circ$  соответствует  $f \approx (1,0 \div 2,0) a$ , где  $a$  — толщина среза, или  $a/f \approx 0,5 \div 1,0 \approx 0,75$ . Примерно то же мы получим и при анализе значений ширины фаски, рекомендуемых нормалью МСС СССР.

Если теперь обратиться к фиг. 6 и 7, то нетрудно увидеть, что именно при таком соотношении между толщиной среза и шириной фаски ( $a/f \approx 0,75$ ) нарост приобретает устойчивую форму. При  $a/f < 0,75$  передний угол нароста уменьшается, понижается его устойчивость на резце, а усадка стружки начинает возрастать. При очень больших отношениях  $a/f$  устойчивость нароста сохраняется, но перемычка между канавкой и задней гранью резца становится слишком узкой по сравнению с толщиной среза и сильно нагревается, в результате чего снижается стойкость резца.

Резцы с канавкой на передней грани (радиусная форма передней грани с фаской) охотно применяются стахановцами-скоростниками, так как они обеспечивают дробление и завивание стружки без специальных стружколомов или стружкозавивателей. Наряду с этим известно, что способность такого резца дробить стружку зависит от выбора режима резания. При изменении условий резания (подачи, глубины, скорости) характер схода стружки меняется. То она отделяется короткими завитками, то закручивается в длинные спирали. При некоторых режимах дробление вообще прекращается. Нетрудно показать, что не только все эти закономерности изменения характера схода стружки с резца, но и сам факт дробления или завивания во многом объясняются присутствием нароста на резце с канавкой. Мы провели несколько серий опытов с резцом, имеющим канавку, с целью изучения влияния режима резания на дробление стружки. Обработываемым материалом служила сталь марки ШХ-15, а резец был оснащен пластинкой из сплава Т5К10. Наблюдения за характером схода стружки показали при этом следующее.

1. При малых величинах отношения  $a/f$  толщины среза к ширине фаски резца ( $a/f < 0,2$ ) стружка сходит с резца непрерывной лентой с очень большим радиусом завивания.

2. С увеличением отношения  $a/f$  радиус завивания стружки непрерывно уменьшается.

3. При отношении  $a/f$ , близком к 0,5, стружка начинает сходиться крупными завитками с радиусом  $8 \div 12$  мм, причем эти завитки, упираясь в заднюю грань резца, зачастую ломаются на крупные полукольца.

4. При дальнейшем увеличении отношения  $a/f$  радиус завивания уменьшается еще более, и стружка завивается в крупные спирали, которые сходят вдоль канавки резца.

5. Когда отношение  $a/f$  достигает  $0,6 \div 0,7$ , стружка начинает ломаться на мелкие полукольца, причем эти кусочки тем мельче, чем больше величина отношения  $a/f$ .

Если мы обратимся к фиг. 6, то увидим, что с ростом отношения  $a/f$  (увеличением толщины среза при постоянной ширине фаски) передний угол нароста непрерывно возрастает. Именно это и является причиной уменьшения радиуса завивания стружки. При больших же отношениях  $a/f$ , когда передний угол велик, нарост вынуждает стружку столь круто завиваться, что ее временное сопротивление изгибу оказывается превзойденным и стружка начинает ломаться на куски.

Следовательно, чтобы обеспечить дробление стружки при работе резца с канавкой, необходимо выдержать определенное соотношение между шириной фаски и толщиной среза, при котором передний угол нароста будет достаточно большим. Поскольку этот угол зависит также и от скорости резания, уменьшаясь с ростом последней, то и скорость должна влиять на характер схода стружки. Опыты показали, что дробление стружки происходит при тем меньших значениях отношения  $a/f$ , чем меньше скорость резания.

Было бы неправильным думать, что геометрия нароста является единственным фактором, обуславливающим характер схода стружки с резца. Интенсивность дробления или завивания стружки зависит также и от угла

наклона главной режущей кромки резца, от глубины и ширины канавки. Поэтому резец с канавкой как средство для дробления стружки оказывается очень чувствительным ко всякого рода изменениям геометрических параметров резца и режима резания, в том числе и к тем изменениям, которые наступают при износе резца. Наиболее интенсивный износ при работе резца с канавкой наблюдается по кромке пересечения плоскости фаски с криволинейной поверхностью передней грани. Передний угол за фаской при этом уменьшается и канавка становится более пологой, что приводит к возрастанию радиуса завивания стружки и ухудшению условий для дробления стружки.

Обобщая результаты исследования работы твердосплавных резцов с фаской при высоких скоростях резания, приходим к следующему заключению:

1. На резце с фаской при высоких скоростях резания образуется устойчивый нарост, что при работе в этих условиях резца без фаски никогда не наблюдается.

2. Характер изменения геометрии нароста в зависимости от факторов резания при высоких скоростях такой же, как и при низких скоростях: передний угол нароста увеличивается с возрастанием отношения  $a/f$  и незначительно уменьшается с повышением скорости резания.

3. При высоких скоростях нарост становится более острым и меньше нависает над задней гранью резца, а потому слабо защищает эту грань от износа.

4. Наличие нароста на резце с фаской приводит к некоторому ухудшению качества обработанной поверхности по сравнению с тем, что мы получаем при работе резца без фаски.

5. Усадка стружки и сила резания на резце с фаской с ростом скорости непрерывно, хотя и незначительно уменьшается вплоть до самых высоких скоростей.

6. Усадка стружки падает с возрастанием отношения толщины среза к ширине фаски.

7. Присутствие нароста на резце с канавкой способствует завиванию и дроблению стружки.

8. Режим резания, при котором обеспечивается надлежащее завивание или дробление стружки, определяется совокупностью геометрических параметров нароста и канавки на резце.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Еремин А. Н. Физическая сущность явлений при резании сталей. Машгиз, 1951.
2. Полетика М. Ф. Исследование процесса резания инструментом с двойной передней гранью. Автореферат диссертации. Томск, 1951.
3. Розенберг А. М. и Еремин А. Н. К теории процесса резания металлов. «Станки и инструмент», № 10, 1950.
4. Розенберг А. М., Зимин Ю. П. Некоторые вопросы трения при резании металла. Сборник «Вопросы машиноведения и машиностроения», Новосибирск, ЗСФАН, 1951.